

余弦曲线橡胶减速带性能分析

史立康¹, 祝海林^{1,2}

(1. 常州大学 机械工程学院, 江苏 常州 213164; 2. 江苏省绿色过程装备重点实验室, 江苏 常州 213164)

摘要: 基于道路减速带控速原理及传统减速带存在问题, 分析了现阶段广泛使用的圆弧形减速带的车体垂向运动速度与加速度特性, 提出了横截面两侧为两条余弦曲线的新型减速带的方案。从减速带截面的曲线方程为切入点, 利用“数形结合”的方法重点对车轮与橡胶减速带整个碰撞过程中轮心的垂向速度和加速度进行分析。结合MATLAB等软件进行仿真, 得出了余弦曲线橡胶减速带无速度突变的特性, 对比圆弧形橡胶减速带的垂向加速度变化, 该新型橡胶减速带对超速行驶的车辆有更好的惩戒作用, 既能有效控速又能改善行车平顺性与乘坐舒适性, 具有很好的应用前景。

关键词: 橡胶减速带; 垂向速度; 垂向加速度; 余弦曲线

中图分类号: TQ336.4⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2018)00-0000-04

我国的交通事故率逐年增长, 其中, 超速行驶是导致交通事故率增长的主要因素^[1]。道路减速带是目前世界各国都广泛应用的交通安全设施, 在其领域内有着不可或缺的作用。目前减速带材料通常为橡胶和铸钢两种, 与铸钢减速带相比, 橡胶减速带具有减震、抗压性好, 对车辆磨损少、噪声小、无需每年再涂漆、美观大方等优点, 更适合城市道路, 因此橡胶材质的减速带更受设计者青睐, 效果也更好^[2-3]。不过, 橡胶减速带是一把双刃剑, 如果减速带的结构或布设方式不合理, 不仅不能有效地控制车速、提高道路安全性, 甚至还会带来许多安全隐患^[4]。因此, 探究既能有效控速又能改善行车平顺性及乘坐舒适性的新型橡胶减速带很有必要。

1 减速带控速机理及存在问题

减速带控速的基本原理是在行车道上设置某种凸起设施, 促使驾驶员因担心超速行驶致使车辆受损, 同时也因乘坐舒适性迅速下降而主动降速, 从而提高车辆通过该路段的安全性^[5]。在设置减速带时, 不仅要保证车辆平稳通过, 不至于失控, 也要保证车辆或减速带不发生剧烈的震动损伤, 并且保证驾驶员和乘客没有严重的不舒适

感, 车身、零部件等没有断裂等危险。理想的道路减速带应该同时符合两个要求: 减速带诱发振动强度能够引起驾驶者足够的重视; 确保车辆的行驶安全^[6]。

我国迄今为止针对道路减速带设置的法律法规还未完善, 因此一些路段上道路减速带的设置还存在不合理现象^[7]。车辆在通过减速带的瞬间损耗了大量机械能的同时还对车辆零部件造成了损伤。另外, 汽车与减速带间碰撞产生的噪声会随着车速及车重的增大而增大, 形成噪声污染, 严重影响周边居民休息。传统减速带的主要缺点是不论车速高低, 通过减速带时均会产生强烈的颠簸振动, 不仅降低了乘坐舒适性, 而且影响控速效果^[8-9]。

2 减速带形状与性能分析

当车辆高速通过减速带时, 减速带相当于给车轮施加了一个冲击脉冲信号, 因此减速带的高度和宽度以及横截面形状都会对车辆的振动产生影响。通过对比相同宽度和高度、不同横截面形状的两种橡胶减速带对车辆的振动影响, 可以提出一种既能有效控速、乘坐舒适性也较好的新型橡胶减速带横截面形状^[10]。

2.1 传统圆弧形减速带

传统橡胶减速带截面曲线为圆弧形, 如图1所示。本研究选取的减速带宽度为 $L=350\text{ mm}$, 高

作者简介: 史立康(1992—), 男, 江苏镇江人, 常州大学在读硕士研究生, 主要从事机械可靠性优化设计和机构创新设计研究。

E-mail: 2284843004@qq.com

$H=50\text{ mm}$, 圆弧半径为 r , 轮胎半径为 R , 车轮接地点 B 与减速带起始点 A 的距离为 L_1 , A' 为减速带终止点。减速带两边关于 y 轴对称, 则

$$\frac{L^2}{2} + (r - H)^2 = r^2 \quad (1)$$

解得 $r=331.25\text{ mm}$ 。设圆心坐标为 $(0, b)$, 则 $b=r-H=281.25\text{ mm}$ 。圆弧的轨迹方程为

$$x^2 + (y + 281.25)^2 = 331.25^2 \quad (2)$$

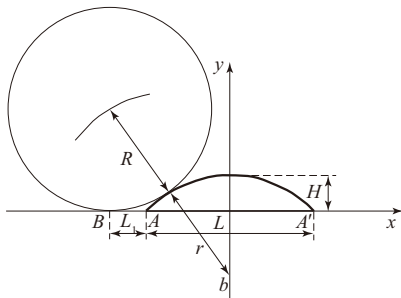


图1 传统圆弧形减速带碰撞模型

一般的汽车轮胎半径 R 为 $270\sim 320\text{ mm}$, 本文取 $R=320\text{ mm}$ 。由图1可知, 当车轮从减速带上方通过时, 轮轴的运动轨迹是以 $(0, b)$ 为圆心、 $r+R$ 为半径的圆弧, 设车速为 v , 轮胎与减速带接触时的离地点为 B , 则 AB 段长度 L_1 、车辆垂向速度 v_y 和垂向加速度 a_y 分别为

$$L_1 = \sqrt{h[2(R+r)-h]} - 0.5L \quad (3)$$

$$v_y = \frac{v(0.5L + L_1 - x)}{\sqrt{(R+r)^2 - (x - 0.5L - L_1)^2}} \quad (4)$$

$$a_y = -\frac{v^2(R+r)^2}{[(R+r)^2 - (x - 0.5L - L_1)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

式中, h 泛指车轮在减速带上的高度。

以车速 $v=30\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 为例, 在MATLAB中输入公式并代入相应数值, 得出传统圆弧形减速带垂直路面方向的速度和加速度变化情况, 分别如图2和3所示。当轮胎刚接触减速带时, 车辆垂向速度 v_y 从零突变为一有限数值($v_y=v\cot\theta$), 此时加速度 a_y 理论上为无穷大, 即产生了刚性冲击, 车辆将发生剧烈的颠簸振动, 这极大地降低了驾乘人员的舒适性。

不同车速下车辆通过圆弧形橡胶减速带时轮心的垂向速度、垂向加速度变化是不同的, 如表1所示。

2.2 余弦截面减速带

将圆弧形减速带两边改用余弦曲线(见图4)

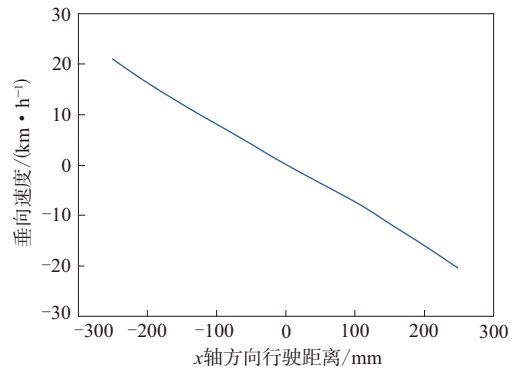


图2 圆弧形减速带轮心垂向速度

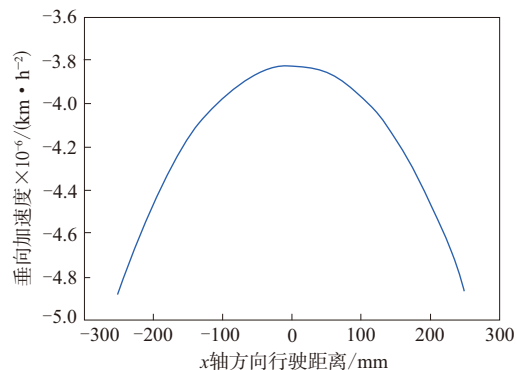


图3 圆弧形减速带轮心垂向加速度

表1 不同车速下车辆通过圆弧形橡胶减速带时轮心的最大垂向速度和最大垂向加速度

车速/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	最大垂向速度 ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	最大垂向加速度 $\times 10^{-6}/$ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-2}$)
10	4.162 2	-0.195 1
20	8.324 3	-0.780 5
30	12.486 5	-1.756 2
40	16.648 6	-3.122 1
50	20.810 8	-4.878 3

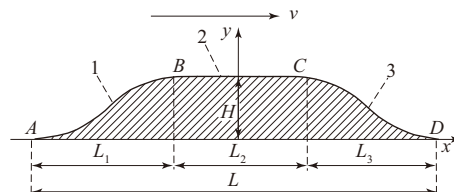


图4 新型余弦曲线减速带截面形状

可以减弱轮胎与减速带间以及汽车着地时产生的冲击, 达到使超速车辆遭受较大的振动冲击而车速较低的车辆能够平缓通过的效果。

该橡胶减速带 $L=350\text{ mm}$, $H=50\text{ mm}$, 截面两侧为两条余弦曲线 AB 和 CD , 顶部为一条水平直线 BC , 减速带关于 y 轴对称, B 点和 C 点分别是余弦

曲线段1与余弦曲线段3与水平直线BC的切点,D点是A点关于y轴的对称点,以达到完美切合,满足行车平顺性的要求。

取 $L_1=L_2=L_3$,其他尺寸与上述圆弧减速带相同。根据对称性,本文对减速带左侧进行分析。

AB段垂向速度:

$$v_y = \frac{\pi h \omega}{2\phi} \sin \frac{\pi}{\phi} \phi = \frac{\pi H v}{2L_1} \sin \frac{\pi x}{L_1} \quad (6)$$

AB段垂向加速度:

$$a_y = \frac{h\pi^2\omega^2}{2\phi^2} \sin \frac{\pi}{\phi} \phi = \frac{H}{2} \left(\frac{\pi v}{L_1} \right)^2 \cos \frac{\pi x}{L_1} \quad (7)$$

CD段垂向速度:

$$v_y = -\frac{\pi h \omega}{2\phi'} \sin \frac{\pi}{\phi'} (\phi - \phi - \phi_s) = -\frac{\pi H v}{2L_3} \sin \frac{\pi x_j}{L_3} \quad (8)$$

CD段垂向加速度:

$$a_y = -\frac{h\pi^2\omega^2}{2\phi'^2} \cos \frac{\pi}{\phi'} (\phi - \phi - \phi_s) = -\frac{H}{2} \left(\frac{\pi v}{L_3} \right)^2 \cos \frac{\pi x_j}{L_3} \quad (9)$$

式(6)~(9)中, x 为推程水平行驶距离, x_j 为回程水平行驶距离, ϕ 为推程运动角, ϕ' 为回程运动角, ω 为角速度, ϕ_s 为远休止角, φ 为转角。

以车速 $v=30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 为例,在MATLAB中输入公式并代入相应数值得出新型减速带垂直路面方向的速度和加速度变化情况,分别如图5和6所示。

余弦曲线减速带的垂向速度先是平缓地增大,随后即缓慢减小为零,期间并无速度突变,消除了传统圆弧减速带对车辆所产生的刚性冲击,缓解了不论车速快慢一律剧烈振动的情况。

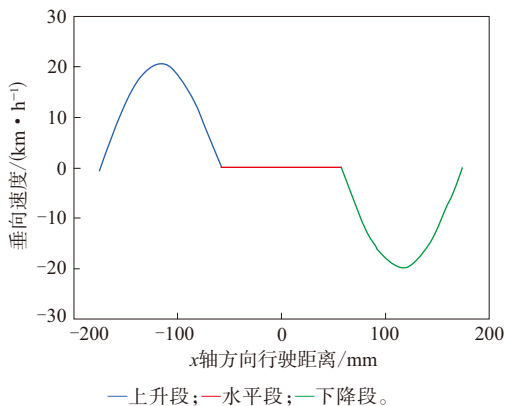
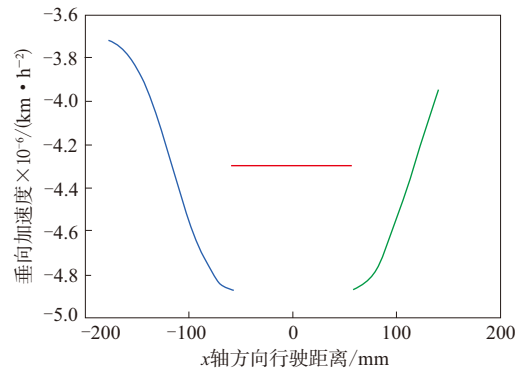


图5 余弦曲线减速带轮心垂向速度



注同图5。

图6 余弦曲线减速带轮心垂向加速度

不同车速下汽车通过余弦曲线橡胶减速带时轮心的最大垂向速度和加速度如表2所示。

表2 不同车速下通过余弦曲线橡胶减速带时轮心的最大垂向速度和最大垂向加速度

车速/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	最大垂向速度 ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	最大垂向加速度 $\times 10^{-6}$ / ($\text{km} \cdot \text{h}^{-2}$)
10	6.732 0	-1.812 8
20	13.464 0	-7.251 1
30	20.195 9	-16.315 1
40	26.927 9	-29.004 5
50	33.659 9	-45.319 6

结合表1和2绘制出汽车以不同速度分别通过两种不同截面形状的橡胶减速带时轮心的最大垂向加速度曲线,如图7所示。

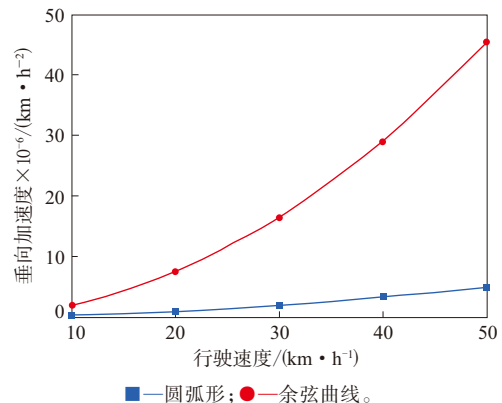


图7 不同车速下通过两种减速带的轮心最大垂向加速度

从图7可以看出,在车辆行驶速度较低的情况下,通过两种截面形状的橡胶减速带时,其最大垂向加速度差别不大;当车速达到 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 左右时,余弦曲线橡胶减速带的最大垂向加速度上升趋势明显,驾驶员的乘坐舒适性与行车的平顺性将受到巨大的影响,且车速越高,受到的颠簸振动

越大。

3 结论

(1) 余弦曲线减速带不会产生速度突变,最大垂向加速度会在行驶速度达到 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 左右迅速增大,对超速行驶的车辆惩罚性加大。

(2) 余弦曲线减速带改变了传统圆弧形减速带不论车速快慢一律产生剧烈振动的情况,低速行驶的车辆可以平稳驶过,乘坐舒适性良好,高速行驶的车辆则会产生较大的垂向加速度突变,这将降低行车的平顺性,警示其不敢超速。

(3) 余弦曲线橡胶减速带可以采用与现阶段广泛使用的圆弧形橡胶减速带同样的材料,制作成本低,简单可行。

参考文献:

[1] 杨光智,张琛,张丹丰. 汽车减速带的最优设置分析[J]. 太原理工

大学学报,2014,45(1):123-127.

[2] 王剑波,叶燕仙. 城市道路减速带的人性化设置[J]. 道路交通与安全,2007,7(3):42-44.

[3] 郭东华,马骏,杜玲玲. 行标《路面橡胶减速带》的研究与制定[J]. 交通标准化,2008(9):12-16.

[4] 郑秋凤,郭建钢. 驼峰式橡胶减速带振动分析及设置技术研究[D]. 福州:福建农林大学,2011.

[5] 张阳阳. 车辆通过减速带引起地面振动的机理分析[D]. 杭州:浙江大学,2011.

[6] 任成龙,徐慧宝. 路面减速带对汽车平顺性和安全性影响的仿真与试验研究[J]. 机械设计与制造,2015(1):191-194.

[7] 张银会,张春丽. 山区城市道路减速带的布设分析[J]. 交通标准化,2012(24):17-19.

[8] 余耀. 山区公路减速带应用关键技术研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2010.

[9] 李灿,李韶华,黄宏伟. 道路连续减速带对重载汽车平顺性影响[J]. 动力学与控制学报,2012(3):273-277.

[10] 陈必太,郭建钢. 小客车通过减速带的振动性及对环境影响研究[D]. 福州:福建农林大学,2015.

收稿日期:2017-06-17

Performance Analysis of Rubber Speed Bump with Cosine Curve

SHI Likang, ZHU Hailin

(Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: Based on the speed control principle of speed bump and the problem existed in traditional speed bump, the vertical velocity and acceleration characteristics of the vehicle crossing the circular arc-shaped speed bump which was widely used at present stage were compared, a new speed bump with two cosine curves on both sides of the cross section was proposed. From the curve equation of the deceleration section as the breakthrough point, accompanied with the method of calculation and modeling combination, the vertical velocity and acceleration characteristics of wheel center in the whole collision process of vehicle wheel and rubber speed bump was analyzed. Simulated via the software of MATLAB, a conclusion was obtained that the rubber deceleration bump with cosine curve did not feature speed mutations, compared to vertical acceleration change of circular arc-shaped rubber speed bump, the new rubber speed bump had better disciplinary action for those speeding vehicles, while it could effectively control speed and improve the driving and ride comfort, which had a good application prospects.

Key words: rubber speed bump; vertical velocity; vertical acceleration; cosine curve